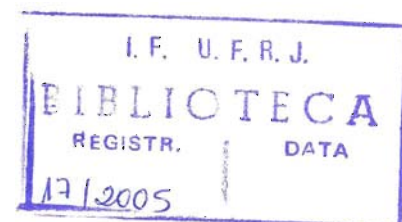




UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA
TRABALHO FINAL DE CURSO

**APLICAÇÃO DO FENÔMENO REFLEXÃO DE UMA ONDA NO EQUIPAMENTO
RADAR COMO EXEMPLO PARA O ENSINO MÉDIO**

Aluno: André Mauricio Rique da Silva
Orientadora: Prof^a Susana Barros



2005

Agradecimentos...

Agradeço ao Grande Arquiteto do Universo pela existência...

A Valéria Rique, minha esposa, pelo apoio durante os dias e noites que ficara com meus filhos para que pudesse estudar,

Ao meu sogro, João L.C.Barreto, que sempre me edificou e acreditou no meu trabalho,

A Professor Susana Barros, que tão bem conduziu a orientação deste trabalho

Ao Professor Artur Chaves, pela ajuda e magnífica colaboração durante o curso

Agradecimentos...

Aos meus pais, Sr. Ayrton e Sr^a Maurícia,
a minha esposa Valéria e meus filhos Lucas
e João Pedro que souberam se ausentar no
momento que precisei do silêncio como
amigo.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	2
A- CONCEITOS BÁSICOS DO PROGRAMA DE FÍSICA ONDULATÓRIA DO 2º GRAU.....	3
A.1- Natureza das Ondas.Mecânicas.....	3
A.1.1- Características de uma onda.....	6
A.1.2- Tipos de Onda.....	8
A.2- Reflexão.....	9
A.3- Frente de onda.....	10
A.4- Interferência.....	11
A.5- Ondas Eletromagnéticas e o Sistema de Radar.....	11
B- HISTÓRIA E EVOLUÇÃO DO RADAR.....	14
C- PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO RADAR.....	16
C.1- Descrição.....	16
C.2- Diagrama Básico.....	19
C.2.1- Elementos do Radar Básico.....	20
C.2.1.1- Antena.....	20
C.2.1.2- Duplexador.....	21
C.2.1.3- Transmissor.....	22
C.2.1.4- Modulador.....	22
C.2.1.5- Receptor.....	23
C.2.1.6- Sincronizador.....	25
C.2.2- Critérios de Performance.....	25
C.2.2.1- Discriminação em Distância.....	25
C.2.2.2- Poder de Discriminação Angular.....	27
D-OUTROS RADARES.....	29
D.1- Radar de Elevação a Balanceamento.....	29
D.2- Radar de Aterrissagem.....	31
D.3- Radar Volumétrico.....	32
D.4- Radar de Exploração Cônica.....	32
E- CONCLUSÃO.....	34
F- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como base os Parâmetros Curriculares para o Ensino das Ciências da Natureza e suas Tecnologias (PCN's) que direcionam a visão dos educadores no sentido de buscar em cada área (Física, Biologia, Química e Matemática) um mecanismo de atualização tecnológica sem ser profissionalizante, com o intuito de se tornar mais útil à vida e ao trabalho do educando.

O que é o radar? Como funciona? Para que serve?

Essas são algumas das questões que se houve falar pela grande massa da população. Sendo assim, esse trabalho se destina a contribuir com os professores e alunos do ensino médio. Seu objetivo é mostrar a utilização do fenômeno reflexão de uma onda por um equipamento que hoje faz parte do dia-a-dia das pessoas. O radar é um equipamento utilizado em várias situações onde que traz benefício para população nos aspectos de segurança, otimização do tempo, previsão, descobertas, entre outras; isso o faz importante para o aprendizado, pois o conhecimento da Física deve ser submetido às necessidades de uma educação geral que permita aos indivíduos aprimorarem seu entendimento sobre o mundo em que vivem.

Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimento práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e uma visão de mundo.[1]

A escola deve exercer seu papel de transmissora de conhecimento aos educandos, buscando novos exemplos e procurando mantê-los atualizados com a sociedade que o cerca.

Esse trabalho aborda ondas mecânicas, ondas eletromagnéticas e por último radar. Trata-se de dar aos alunos condições para desenvolver uma visão de mundo atualizada, o que inclui uma compreensão mínima das técnicas e dos princípios científicos em que se baseiam, além de conhecimento prático essencial a uma educação básica, compreender por exemplo a operação de um motor elétrico ou de combustão interna, ou os princípios que regem as modernas telecomunicações, os transportes, a iluminação e o uso clínico, diagnóstico ou terapêutico, das radiações.[1]

Nos tópicos trabalhados na disciplina de Física, conceitos e fundamentos ensinados podem ser utilizados para dar exemplos do cotidiano. Isso faz com que o aluno reflita, leia e interprete textos científicos.

A. CONCEITOS BÁSICOS DO PROGRAMA DE FÍSICA ONDULATÓRIA DO 2º GRAU

Para que se possa explicar como funciona o Radar faz-se necessário que se entendam os conceitos básicos de ondas e seus fenômenos. A ênfase é dada a onda mecânica para melhor exemplificar e por permirtir uma fácil visualização dos fenômenos ondulatórios.

A.1. Natureza das Ondas Mecânicas

Ao ser tocada pelo músico, a corda de um violão vibra e produz uma perturbação no ar, que se propaga na forma de uma onda sonora. Ao atingir o ouvido, a onda sonora gera a sensação auditiva (Fig.1) [2]

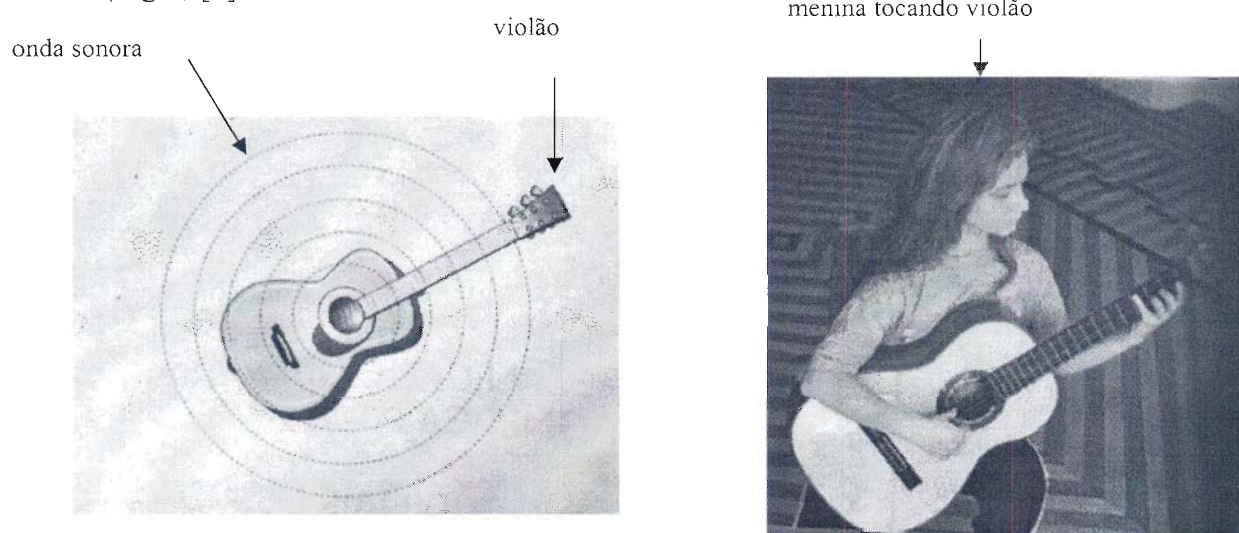


Figura 1 - A onda sonora se propagando pelo ar, a partir da vibração das cordas do violão

Quando se joga uma pedra num lago, produz-se uma perturbação na superfície, que também se propaga na forma de uma onda (Fig.2)[2]



Figura 2- Na superfície do lago pode-se ver a perturbação

É difícil imaginar como se forma uma onda sonora, pois a perturbação do ar não é visível. No entanto, as ondas mais fáceis de enxergar e entender são as que se formam em cordas ou molas esticadas. Então, a definição de onda pode ser dada do seguinte modo.

Onda, ou pulso de onda, é qualquer perturbação que se propaga através de um meio e, durante a propagação e transmite energia aos pontos do meio.[3] Sua natureza pode ser classificada em ondas mecânicas e ondas eletromagnéticas.

As ondas mecânicas são aquelas originadas pela deformação de uma região de um meio elástico e que, para se propagarem, necessitam de um suporte material (Fig.3) [4].

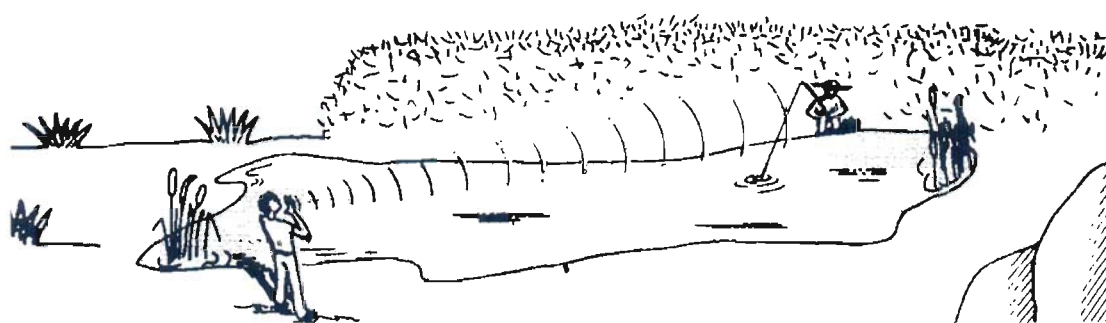


Figura 3- O homem chama o seu companheiro e o som de sua voz se propaga no ar (meio material)

É importante observar que uma onda não transporta o meio onde se propaga; é apenas a energia que se transporta de posição passando de partícula para partícula do meio material (Fig.4).[3]



Figura 4 – A onda transporta energia e quantidade de movimento

Como exemplo de ondas mecânicas, pode-se citar as ondas que se propagam em cordas ou molas esticadas e as ondas que se propagam em superfícies de líquidos e os sons. (Fig.5) [3]

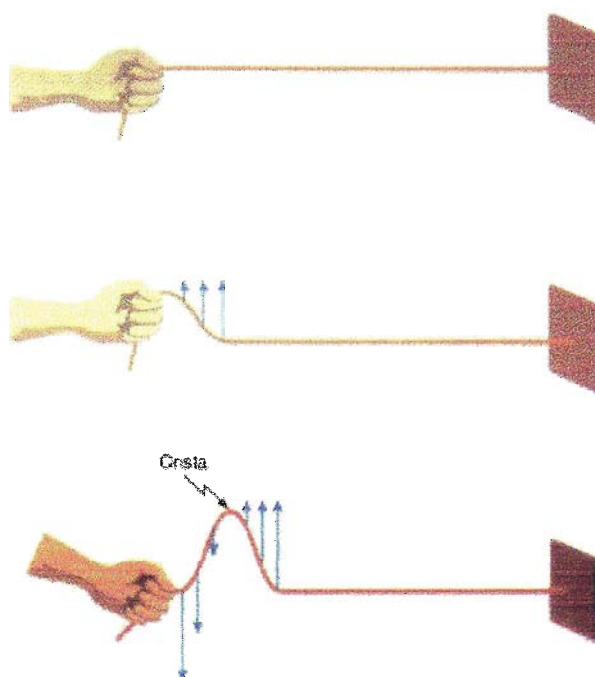


Figura 5 – A mão começa a subir, a extremidade da corda acompanha esse movimento, a perturbação introduzida pela mão do operador é transmitida

A propagação ondulatória sempre envolve uma transmissão de energia. No caso das ondas na corda, essa energia, que é mecânica, apresenta-se parte sob a forma de energia cinética e parte sob a forma de energia potencial elástica. A energia cinética está na massa da corda, que, naquele instante, está subindo ou descendo. A energia potencial está na parte da corda que apresenta deformação, pois essa corda é um corpo elástico. (Fig.6) [5]

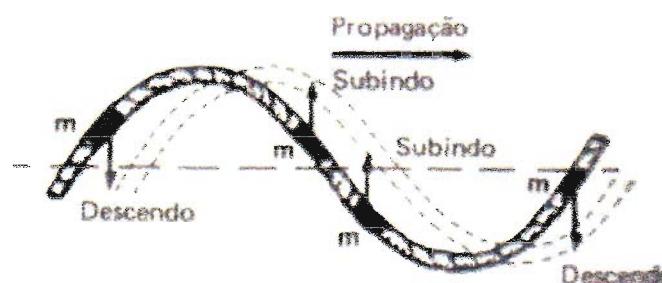


Figura 6- Um pequeno pedaço de massa m da corda, em cada instante, está subindo ou descendo (exceto quando por ele passa uma crista ou um vale). Assim, esse pedaço de massa tem energia cinética

A.1.1 Características de uma Onda

É importante discutir o exemplo de uma onda mecânica, pois torna-se mais fácil para o aluno a compreensão do conceito de onda eletromagnética, seus fenômenos e sua aplicação no radar, visto que seu entendimento tem uma relação com a disciplina Mecânica.

Para descrever uma onda e as características da onda é necessário definir um conjunto de grandezas físicas.

Para exemplificar esse conjunto de grandezas físicas, serão analisadas as ondas produzidas em uma corda esticada, que sofre perturbações contínuas produzidas pela fonte geradora que está representada pela mão de uma pessoa (Fig.7).[3]

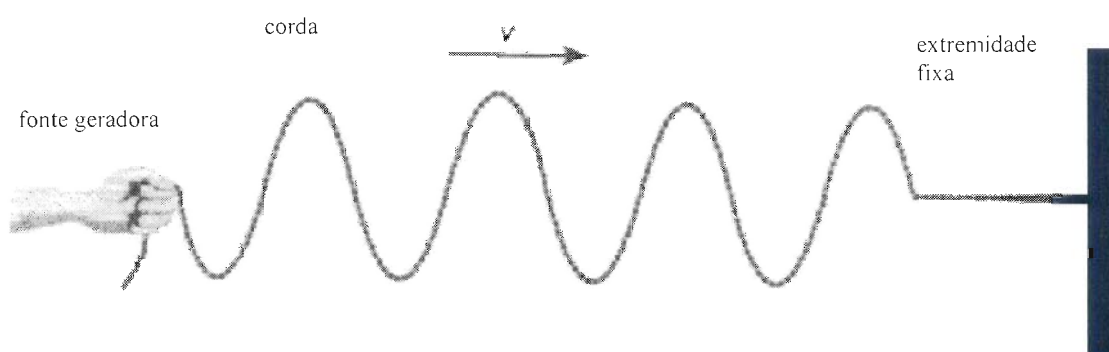


Figura 7. A mão do homem serve como fonte geradora de energia quando oscila para cima e para baixo, esta energia é transferida para corda e a faz oscilar na mesma frequência até a onda atingir a parede.

Essa onda possui certas propriedades e características que estarão presentes em todos os tipos de onda universais.

Observa-se que na figura 7 se tem um exemplo de um meio elástico, que cada ponto da corda oscila para cima e para baixo em torno de uma posição de equilíbrio, posição que todos os elementos da corda ocupariam se a onda não estivesse presente.

A altura **A** da onda corresponde ao máximo afastamento que as partículas da corda podem apresentar em relação à posição de equilíbrio. A amplitude de uma onda está relacionada à energia que transporta: quanto maior a amplitude, maior a quantidade de energia que a onda estará transportando, energia essa que lhe foi transferida pela fonte geradora representada pela mão da pessoa.

Nesse tipo de onda, seu ponto mais alto recebe o nome de crista (ou pico), e seu ponto mais baixo corresponde ao vale.

O comprimento de onda λ , corresponde ao comprimento de um ciclo completo. Ele pode ser medido pela distância entre uma crista e a vizinha, ou então, pela distância entre um vale e o vizinho (Fig.8).[3]

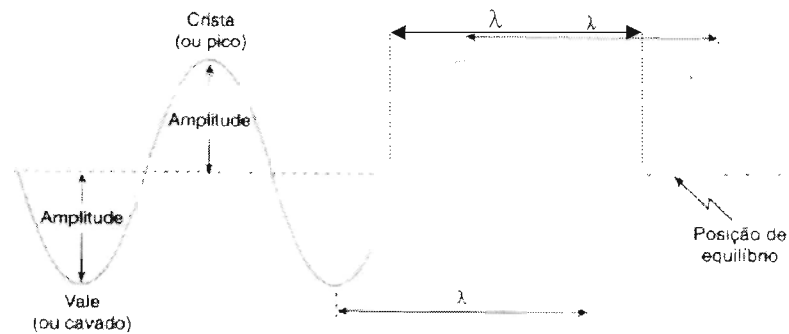


Figura 8. Grandezas características de uma onda

Para a produção da onda na corda, o operador precisou movimentar sua mão em ciclos. O tempo necessário para a realização de um ciclo completo recebe o nome de período, representado por **T**. O período do movimento dos pontos da corda é igual ao período do movimento da mão, que neste caso, é a fonte de ondas.

Outra grandeza fundamental no estudo das ondas é a sua frequência, representada por **f**, que corresponde ao número de ondas que passam por um determinado ponto do meio ou ao número de ondas que são produzidas, em um dado intervalo de tempo. Convém ressaltar que a frequência de uma onda é sempre igual à frequência da fonte que a originou e mantém-se constante durante toda a existência dessa onda.

$$f = n / \Delta t \text{ (ciclos / segundos)}$$

em que **n** é o número de ondas e Δt é o intervalo de tempo correspondente.

A frequência **f** de uma onda está relacionada ao período **T**; quanto menor o período **T**, maior será o número de ondas produzidas num dado tempo, ou seja, maior será a frequência **f**. O período **T** e a frequência **f** são grandezas inversamente proporcionais. Na figura 8 foi mostrado que a onda de corda gerada pela mão do homem se encontra na mesma frequência do movimento de subir e descer da mão. Quando o intervalo de tempo considerado é igual ao período ($\Delta t = T$), apenas uma onda foi produzida ($n=1$). Então: $f=1/T$.

A velocidade **v** de propagação da onda em um meio é outra grandeza que depende apenas de características desse meio.[3] A Figura 9 mostra o deslocamento de uma onda entre dois instantes.

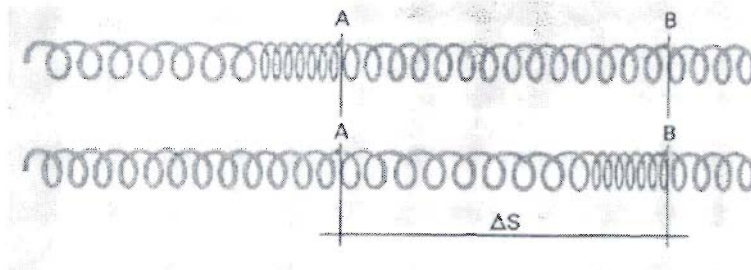


Figura 9- Os pontos A e B são dois pontos distintos da mola

No primeiro instante, o ponto A da mola tem um determinado movimento e, no segundo instante, esse mesmo movimento ocorre no ponto B. Diz-se então que, nesse intervalo de tempo, a onda se deslocou de A para B.

Sendo ΔS o deslocamento da onda no intervalo de tempo Δt , a velocidade da onda é :

$$v = \Delta S / \Delta t$$

Seja T o período do movimento de um ponto do meio e v a velocidade de propagação da onda. O comprimento de onda é o deslocamento da onda num intervalo de tempo igual a um período :

$$\lambda = v \cdot T$$

Se o período é o inverso da frequência $T = 1 / f$

Logo, pode-se escrever :

$$\lambda = v / f$$

A.1.2 Tipos de Onda

Quando uma onda se propaga em uma corda esticada as partículas da corda apenas vibram para cima e para baixo à medida que as ondas passam por elas. Portanto, as partículas do meio vibram em uma direção transversal (perpendicular) à direção de propagação da onda. Neste caso, as ondas são denominadas ondas transversais.(Fig.10)[3]

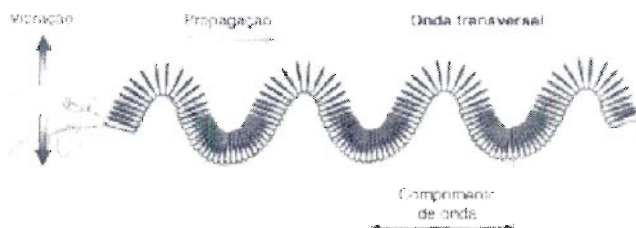


Figura 10

No caso em que as partículas do meio vibram na mesma direção em que a onda se propaga, a onda então é chamada de longitudinal. Neste tipo de onda as partículas do meio passam por compressões e expansões (ou rarefações) periódicas à medida que a onda se propaga (Fig.11)[3]

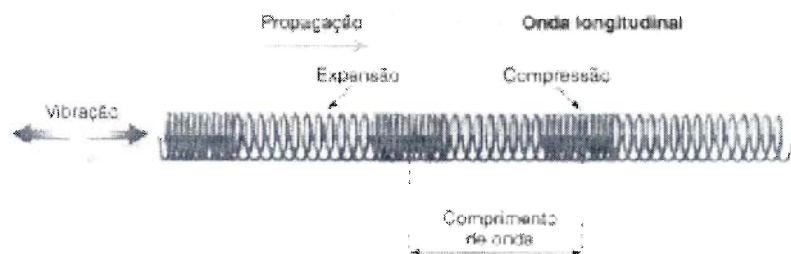


Figura 11

A.2. Reflexão

Observa-se que o fenômeno que será apresentado utiliza onda mecânica para melhor exemplificar, contudo as ondas eletromagnéticas também sofrem o mesmo fenômeno citado, que será visto mais adiante.

Quando um pulso atinge a extremidade de uma corda fixa (Fig.12), verifica-se que ele retorna, propagando-se de volta para a fonte. O pulso gerado, à medida que passa pelos pontos da corda, faz cada um deles subir e descer, quando atinge uma extremidade fixa (parede) e tenta movê-la, a parede pela 3ª Lei de Newton (Princípio da Ação e Reação), reage sobre a corda, gerando um pulso refletido, isto é, o mesmo pulso volta com sentido invertido. Esse fenômeno é chamado de reflexão de um pulso.[5]

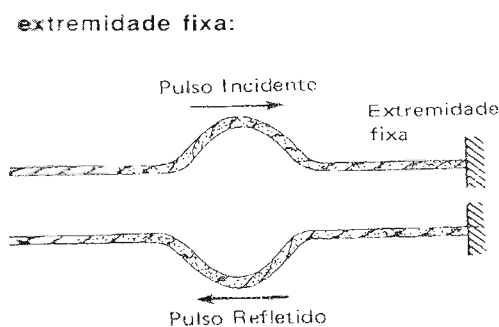


Figura 12 – O corda atinge a parede e retorna invertida

O mesmo fenômeno de reflexão se observa quando um morcego emite uma onda sonora para verificar se há um obstáculo ou uma presa para se alimentar (Fig.13).



Figura 13- O morcego emite uma onda sonora e o mosquito reflete esta mesma onda que é captada pelo morcego

A.3. Frente de Onda

No final do século XVII, o físico e astrônomo holandês Christian Huygens propôs, em seu *Treatise on Light*, um método de construção gráfica de frentes de onda, que ficou conhecido por Princípio de Huygens. Cada ponto de uma frente de onda pode ser considerado uma nova fonte de ondas secundárias que se propagam em todas as direções. Em cada instante, a curva ou superfície que envolve a fronteira dessas ondas secundárias é a nova frente de ondas. A frente de onda separa a região perturbada da região ainda não perturbada (Fig. 14a e 14b). Segundo o Princípio de Huygens, cada ponto de uma frente de onda comporta-se como uma nova fonte de ondas elementares, que se propagam para além da região já atingida pela onda com a mesma frequência da onda original.

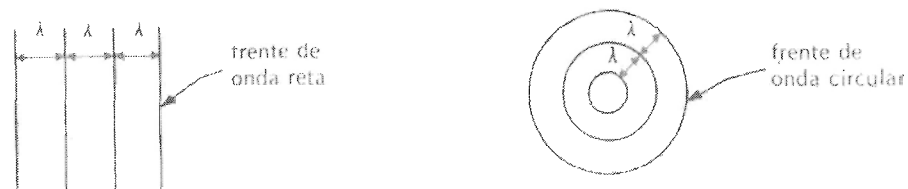


Figura 14a - Em meios homogêneos a frente de onda desloca-se mantendo sua forma geométrica

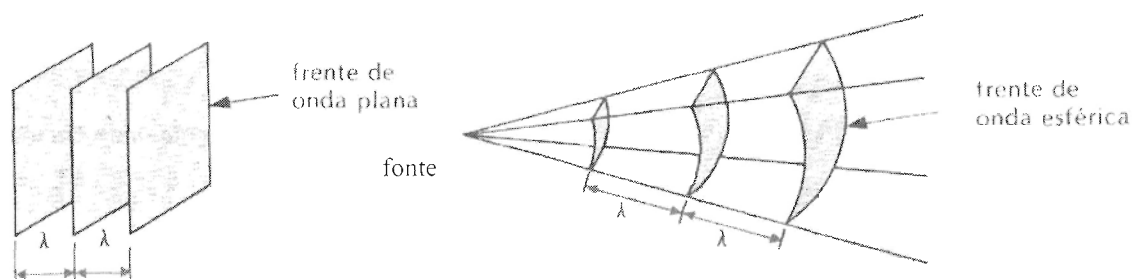


Figura 14b - Uma frente de onda circular continua circular, uma frente reta continua reta desde que não haja obstáculos que afetem a propagação

A.4. Interferência

As figuras 15a e 15b mostram duas ondas se propagando em sentidos opostos numa mesma corda. Quando elas se encontram, ocorre o fenômeno da interferência, isto é, superposição de ondas.

Na seqüência **a**, em que as perturbações nas duas cordas tem o mesmo sentido, ocorre a soma das perturbações na interferência. Nesse caso, diz-se que houve interferência construtiva.

Na seqüência **b**, em que as perturbações nas duas cordas tem sentidos opostos, a perturbação resultante na interferência é a diferença entre as duas perturbações. Diz-se que houve interferência destrutiva.[3]

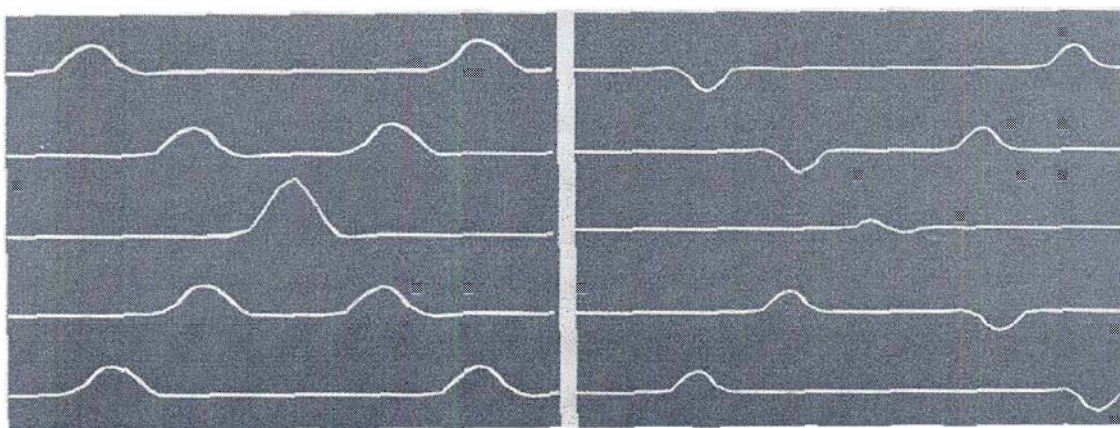


Figura 15a- Interferência construtiva

Figura 15b- Interferência destrutiva

A.5. Ondas Eletromagnéticas e o Sistema de Radar

Em meados do século XIX, havia um ramo novo da Física que passava por importantes progressos : o eletromagnetismo. Utilizando equações que havia criado para os campos elétrico e magnético, James Clerk Maxwell (1831-1879) deduziu teoricamente que qualquer perturbação nesses campos deveria se propagar na forma de uma onda, a qual denominou onda eletromagnética.

Em 1888, Heinrich Hertz (1857-1894) conseguiu produzir ondas eletromagnéticas em laboratório, comprovando a previsão teórica de Maxwell.

Utilizando valores de determinadas constantes elétricas e magnéticas, Maxwell calculou que as ondas eletromagnéticas teriam velocidade de 3×10^8 m/s no vácuo, igual à velocidade da luz que já havia sido determinada experimentalmente.

Nessa época, já se aceitava que a luz deveria ser uma onda. A luz, assim como o infravermelho e o ultravioleta, eram ondas do tipo previsto por Maxwell : ondas eletromagnéticas.

A partir das experiências de Hertz, foram inventados sistemas de comunicação que utilizam ondas eletromagnéticas e aparelhos que transmitem ondas em variadas frequências. É o caso dos atuais sistemas de transmissão de rádio, TV e telefone, bem como sistema de radar . O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas distribuídas em função de seus comprimentos de onda é denominado espectro eletromagnético (Fig.16).[1]

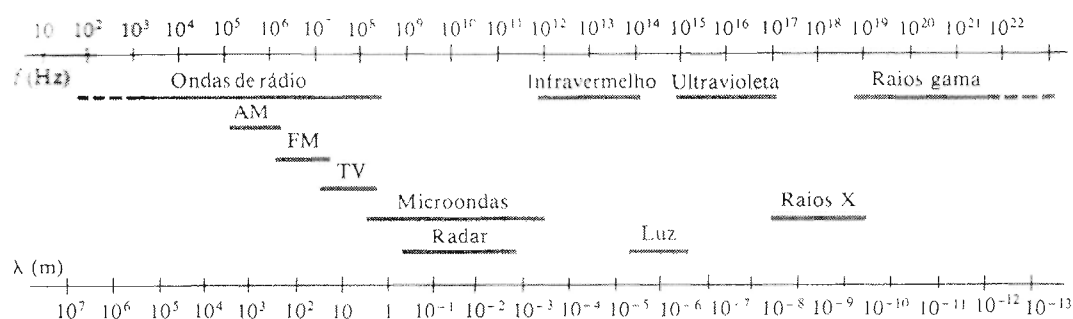


Figura 16-Espectro de frequência da onda eletromagnética

As ondas eletromagnéticas são aquelas originadas por cargas elétricas oscilantes, como por exemplo, elétrons oscilando na antena transmissora de uma estação de rádio ou TV . Elas não necessitam de um meio material para se propagarem (Fig17).

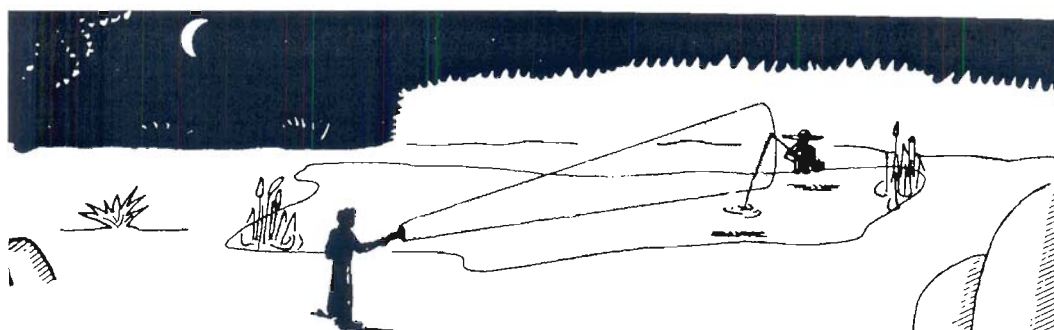


Figura 17 – O feixe luminoso da lanterna atinge o outro pescador, propagando-se pelo espaço

Portanto, uma perturbação elétrica no ponto P, devida à oscilação de cargas elétricas, por exemplo, se propaga a pontos distantes através da mútua formação de campos elétricos e magnéticos variáveis. Maxwell estabeleceu equações para a propagação dessa perturbação mostrando que ela apresentava todas as características de uma onda: refletindo, refratando, difratando e interferindo. Por isso denominou-a ondas ou radiações eletromagnéticas (Fig.18)

Como foi visto em ondas mecânicas, os fenômenos e as características das ondas se repetem para as ondas eletromagnéticas, porém a onda eletromagnética se propaga na **velocidade da luz no vácuo** ($c = 300000\text{Km/s}$).

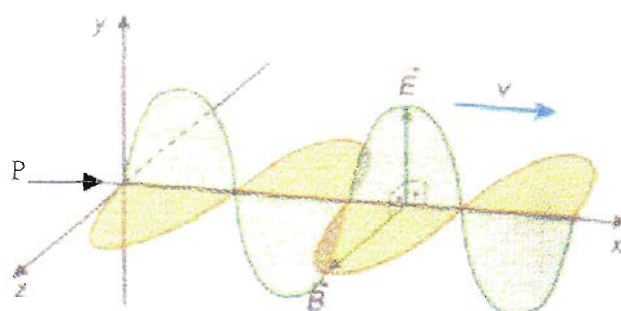


Figura 18 - O campo elétrico e magnético fazem 90°

Aproveitando essas características, a onda eletromagnética se tornou uma constante no cotidiano, como por exemplo na telefonia, na medicina, na geologia, na navegação, no controle de tráfego aéreo e outras; e sua aplicação se expandiu para todas as áreas de conhecimento. Pode-se enumerar infinitas aplicações porém uma das mais comentadas pela imprensa hoje é o radar

Na figura 18 observa-se um radar móvel de detecção de velocidade transmitindo um sinal na direção do automóvel. Nessa situação, o campo elétrico e o magnético se alternam obedecendo à Lei de Faraday no espaço na mesma frequência da oscilação elétrica na antena. Neste processo de crescimento e de extinção, as cargas elétricas dão origem às ondas eletromagnéticas que se propagam através do espaço, conduzindo a informação transmitida aos receptores distantes. Neste caso a própria antena transmissora recebe o sinal refletido.

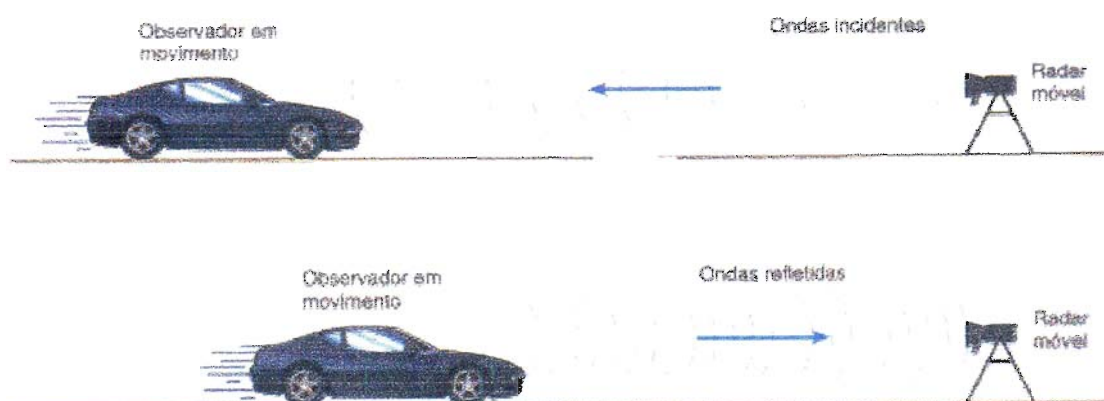


Figura 19 – A figura mostra um radar móvel sendo usado para medir a velocidade de um automóvel utilizando Efeito Doppler

O termo radar se tornou parte do vocabulário das pessoas todas as vezes que as companhias aéreas atrasam seus vôos em função de um problema no radar, a maioria das vezes o controlador de tráfego aéreo se sente na obrigação de separar as aeronaves por tempo, isso faz com que as últimas aeronaves tenham um atraso maior, gerando caos nos aeroportos, e virando notícia em cadeia nacional.

O radar, mostrado na figura 19, é comumente encontrado nas rodovias onde o controle de velocidade se faz necessário, porém outros radares são utilizados, como por exemplo o radar de rota, radar de terminal, radar meteorológico, radar de busca, radar de tiro, radar de bordo, radar altímetro e outros. Todos com o mesmo princípio de funcionamento.

A radiação emitida pelo radar está na região de microondas do espectro eletromagnético, e é em geral definida por bandas, em função da frequência: Banda S em 3GHz, Banda C em 5GHz e Banda X em 10GHz.

B. HISTÓRICO E EVOLUÇÃO DO RADAR

As primeiras aplicações de radioeletricidade foram feitas inicialmente nas telecomunicações e depois na radionavegação. O desenvolvimento dos meios de transporte, tanto pelo mar como pelo ar, fizeram rapidamente aparecer a necessidade de se detectar simultaneamente a direção e a distância de um objeto não cooperativo (passivo) como por exemplo a detecção nuvens, continentes e icebergs.

De certa forma não era possível, somente com os meios da rádio navegação, determinar a posição de um objeto, a não ser que este estivesse munido de um dispositivo emissor (ativo), o que tornava necessário, para sua orientação, de pontos geográficos devidamente localizados e de um operador especializado para a operação dos equipamentos. Isto limitava as possibilidades da rádio navegação, diante dos problemas de anticolisão e detecção de objetos hostis, ou simplesmente não cooperativa.

O radar foi desenvolvido para "detectar" a presença de um objeto sem a participação ativa deste próprio objeto. A palavra R. A. D. A. R é universalmente adotada para designar um equipamento respondendo a esta exigência e que se origina da expressão anglo-saxônica: **Radio Detection And Ranging** (Alcance e Detecção Radio).

O radar não é o produto do trabalho de um só homem, nem o resultado do desenvolvimento de uma idéia em particular, mas a coroação das idéias e desenvolvimento de muitos homens. Sua origem data da invenção do rádio, e ele é, basicamente, uma outra aplicação do rádio que não o entretenimento. A idéia de detecção pelo rádio permaneceu latente até que os

prelúdios da Segunda Guerra fizeram os aliados concentrarem nele seus esforços para a criação de uma arma defensiva.

A primeira notícia de sua existência chegou ao público em 07 de dezembro de 1941, quando os japoneses atacaram Pearl Harbor: o público ficou sabendo que um aparelho indicara a aproximação de aeronaves não identificadas, meia hora antes do ataque, mas que esta informação não fora usada.

Os radares primitivos, ou sistemas de detecções de ecos, tiveram seu começo em 1888 quando o físico alemão Heinrich Hertz demonstrou que as ondas eletromagnéticas (rádio) são refletidas por objetos, de forma semelhante à reflexão das ondas de luz.

O interesse na detecção por rádio não evoluiu nos anos seguintes até que Nicola Tesla declarasse em junho de 1900 que:

"Podemos determinar a posição ou o curso de um objeto em movimento, tal como um navio no mar, a distância percorrida pelo mesmo ou sua velocidade".

Com o passar do tempo, novas pesquisas foram surgindo e em outubro de 1940 uma missão técnica inglesa chegou aos Estados Unidos com todas as informações sobre os equipamentos britânicos e trazendo amostras da recém-desenvolvida válvula magnetron, que seria uma válvula de potência que aplicada ao transmissor melhoraria o alcance do Radar.

O Laboratório de Radiações do M.I.T (Instituto Tecnológico de Massachusetts) estava destinado a se tornar famoso pelo seu trabalho de desenvolvimento de radar. Após a Segunda Guerra Mundial, a importância do radar aumentou, e foram encontrados novos empregos para ele.

A FAA (Força Aérea Americana) reconheceu imediatamente as vantagens do radar no controle de tráfego aéreo. O radar aumenta a segurança do voo, pois permite que um operador em terra observe todos os aviões em sua área, apesar de escuridão ou das condições de tempo, o que permite, pela utilização de um canal de comunicação, dirigir o avião e evitar colisões. Além disso, permite manter horário de chegadas e partidas em terminais congestionados, de forma mais rápida que qualquer outro meio, pois permite uma separação menor entre o avião que chega e o que parte. [6]

Outra aplicação pacífica do radar foi desenvolvida em meteorologia. O radar permite ver precipitações de qualquer tipo, fazer rastreios de tempestades e de mau tempo com precisão.

A evolução do radar depois da Segunda Guerra Mundial foi expressiva. Uma das maiores realizações foi o sistema que indica apenas alvos móveis chamado de Indicador de Alvos Móveis (Movement Target Indicator - MTI), pois uma das restrições sérias ao uso do radar era imposta pelo fato de que não apenas os alvos produziam ecos, mas também os objetos estacionários como prédios, árvores, montanhas, etc. O MTI elimina os ecos dos alvos fixos e apresenta ao operador

somente ecos de alvos móveis. Porém a evolução do radar continua e os novos melhoramentos tendem a aumentar a complexidade do sistema .

C. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DO RADAR

O Radar é um sistema que permite a detecção da posição, da distância e da velocidade de um objeto por meio de ondas eletromagnéticas refletidas por esse objeto. É basicamente um equipamento que transmite um pulso e recebe esse mesmo pulso eletromagnético que ele gera e envia para o espaço. Após reflexão do pulso no objeto, esse pulso refletido (eco) é convertido em sinal de vídeo e monitorado em uma tela. Dependendo da sua aplicação o objeto pode ser um avião, um carro, nuvens, navio, solo e outros.

C.1. Descrição

O Radar é um instrumento capaz de fornecer ao operador duas informações principais:

- a) Existência de um corpo estranho (avião, barco, nuvens, obstáculos naturais, míssil, icebergs , etc ...)
- b) Posição deste corpo estranho.

As primeiras experiências sobre a detecção foram baseadas sobre o fato de que ao transmitir ondas eletromagnéticas no espaço, elas eram refletidas ao atingirem um obstáculo, dessa forma a presença de um objeto dentro do campo de irradiação de uma antena perturbava esta irradiação (Fig.20) . Este procedimento que permite determinar a existência de um objeto é insuficiente, pois ele não permite determinar a localização deste objeto.[6]

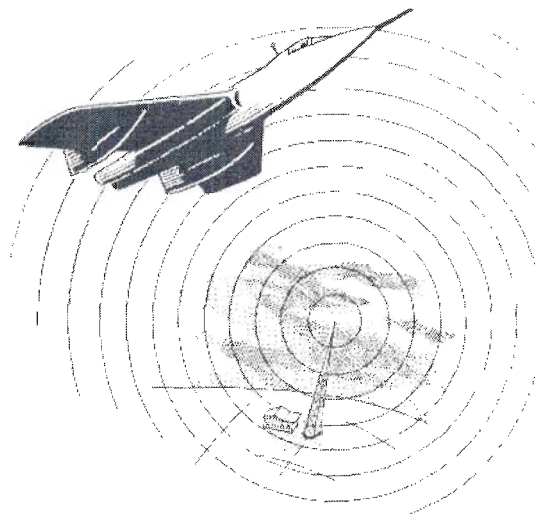


Figura20- A antena emite sinais (ondas eletromagnéticas) em todas as direções.

É necessário então complementar esta técnica por uma medida permitindo a localização, o que pode ser realizado utilizando pulsos segundo o princípio abaixo (figuras 21 e 22):

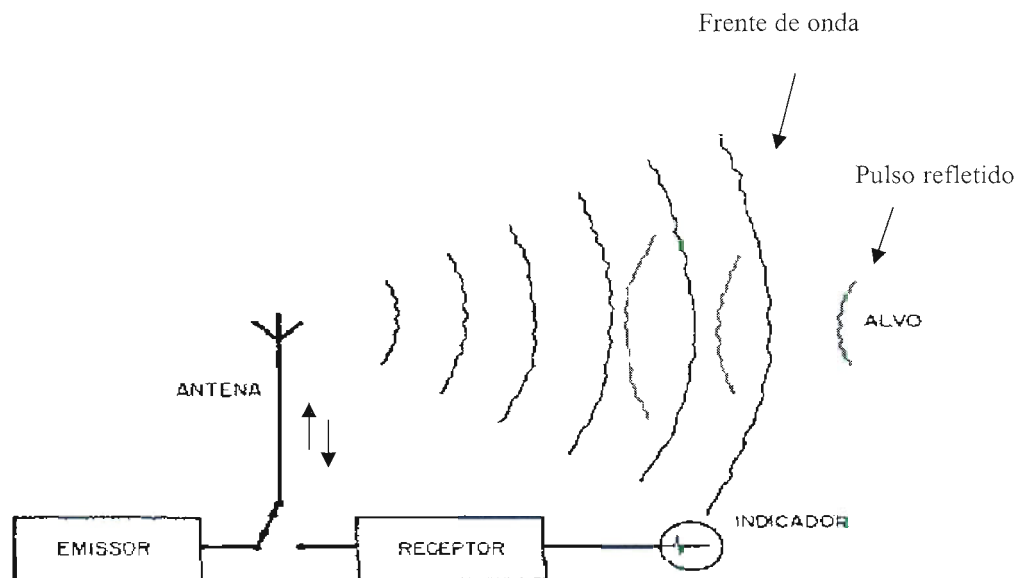


Figura 21- O sinal gerado no emissor é enviado pela antena para o espaço, ao atingir o alvo é refletido para antena. A chave comuta o sinal recebido para o receptor.

No item A.3 observa-se a mão do homem gerando o pulso que se propaga pela corda. Neste caso, tem-se um equipamento chamado emissor que gera e amplifica a onda eletromagnética; a antena transmite esta onda para o espaço, que atinge a aeronave, retornando com amplitude menor e invertida, pois parte da energia foi perdida no espaço e a antena capta essa onda.[6]

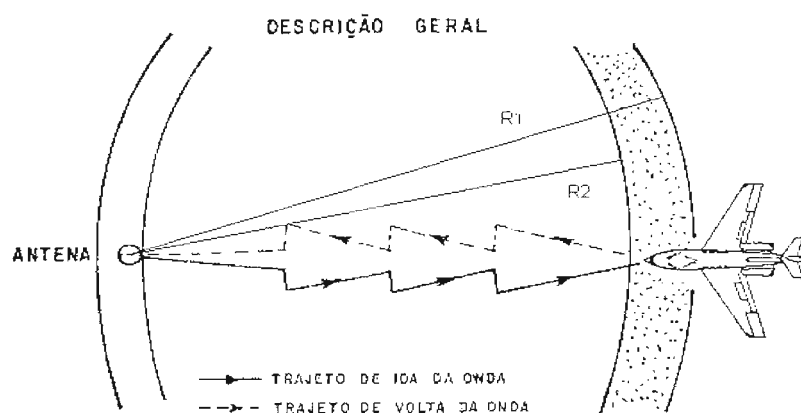


Figura 22- A antena transmite para o espaço a onda que se quer propagar, e após alguns instantes recebe o retorno desta onda (reflexão). Como o avião se movimenta com velocidade constante, pode-se utilizar o MRU para achar a distância.

Um sinal muito breve ou um pulso de duração " Δt_0 ", igual a alguns micro-segundos, produzido num transmissor, é dirigido para uma antena que irradia em todas as direções

(omnidirecional). Uma onda assim excitada se desloca na ar com velocidade aproximadamente igual a da luz:

$$c = 3.10^8 \text{ m/s}$$

Este sinal se propaga em todas as direções e se encontra a um instante t repartido entre duas esferas de raios $R1 = c \cdot t$ e $R2 = c \cdot (t + \Delta t_0)$.

Após o intervalo de tempo Δt_1 , o sinal atinge o alvo; este tempo é proporcional à distância antena-alvo, e se deduz pela equação:

$$\Delta t_1 = d/c, \text{ onde } d \text{ é a distância do alvo}$$

Uma parte do sinal é refletido pelo alvo. Diz-se que o alvo é "iluminado" e "reirradia" uma parte da energia de maneira igualmente omnidirecional. No fim de um intervalo de tempo Δt_2 igual a Δt_1 , a onda refletida atinge de novo a antena que capta uma parte da energia refletida pelo alvo.

Essa antena foi religada, nesse intervalo, a um receptor muito sensível que amplifica o sinal captado, isto é, um pulso análogo ao transmitido. O intervalo de tempo que separa o instante de transmissão e o instante de recepção é então:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$$

$$\text{Como } \Delta t_1 = \Delta t_2 \Rightarrow t = 2t_1$$

$$\text{Como } \Delta t_1 = \frac{d}{c} \Rightarrow \Delta t = 2 \frac{d}{c}$$

$$\text{Logo } d = \frac{t \cdot c}{2} \quad d = \text{distância do alvo}$$

A medida de t permite conhecer a que distância se encontra o alvo. Pode-se, por exemplo, medir este tempo utilizando um tubo de raios catódicos análogo àqueles utilizados nos osciloscópios clássicos (ou tela TV - chamado também de scope A).

Pode-se graduar completamente o eixo horizontal do osciloscópio em distância e se possui então um aparelho revelando a presença de um alvo, dando sua distância.

Os desvios dos feixes sobre o osciloscópio são proporcionais às tensões aplicadas. A posição do sinal sobre o eixo horizontal do osciloscópio é então proporcional à distância radar alvo.

C.2 Diagrama Básico

O diagrama funcional típico de um radar pode ser representado conforme abaixo:

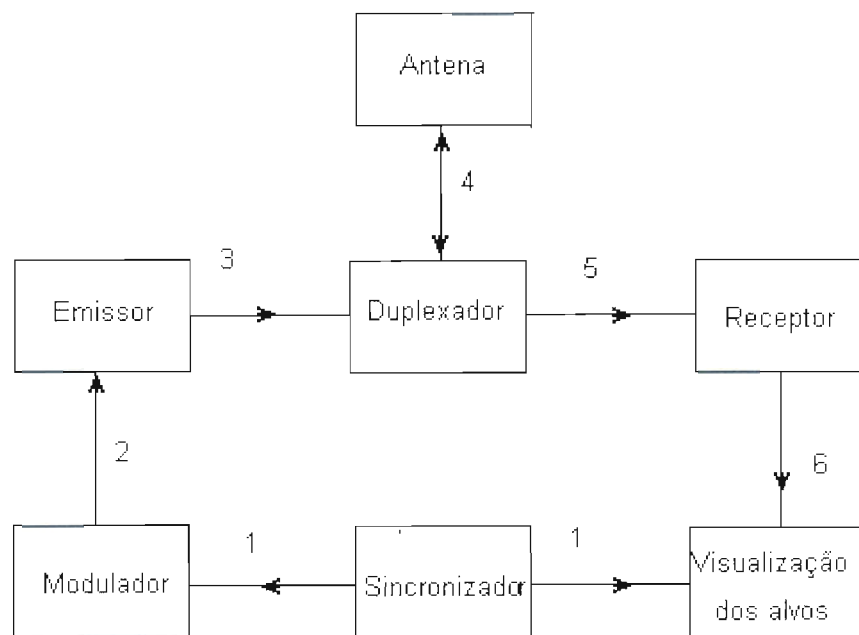


Figura 23- Esquema básico

A numeração encontrada no diagrama de bloco representa os sinais do sistema, de acordo com:

1. sinais de sincronização
2. sinais de comando de emissão
3. sinais de hiperfrequência transmitidos
4. ligação duplexador recebidos
5. sinais de hiperfrequências recebidos
6. sinais tratados pelo receptor

C.2.1 Elementos Básicos do Radar

Dentro da arquitetura do radar existem vários módulos que executam funções determinadas, de tal maneira que o resultado final seja a apresentação do eco refletido do objeto na tela do radar (Fig24).

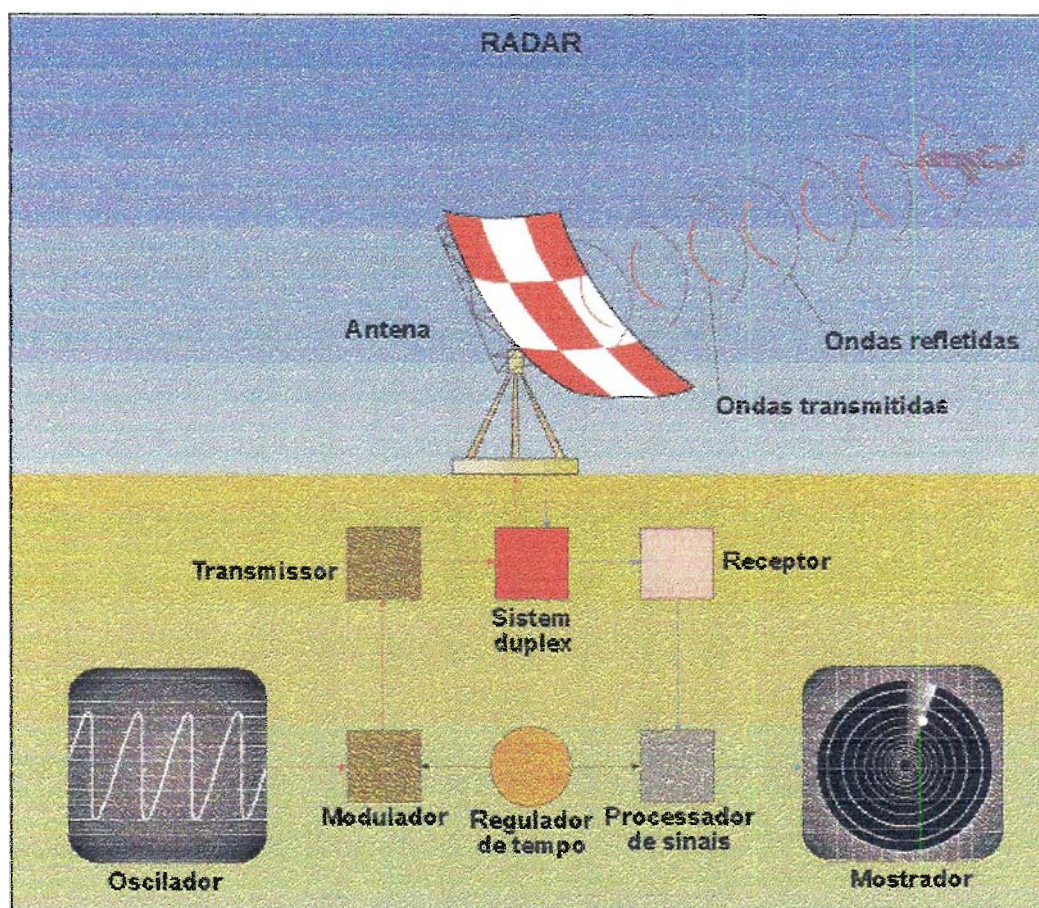


Figura 24- Elementos de um radar básico

C.2.1.1 A Antena

É o elemento mais visível do radar e também o mais conhecido. Antenas são dispositivos que lançam ondas eletromagnéticas no espaço, e de maneira inversa, captam estas ondas e as transferem a um circuito. Seu papel é emitir e captar a energia emitida pelo radar dentro de um ângulo determinado (Fig.25). Este ângulo é definido pela natureza da antena utilizada. A direção para a qual ele é dirigido está igualmente ligada geometria da antena. Uma ação (mecânica ou eletrônica) sobre esta antena, permitirá modificar esta direção e então provocar uma exploração do espaço em torno do radar (Fig.26).

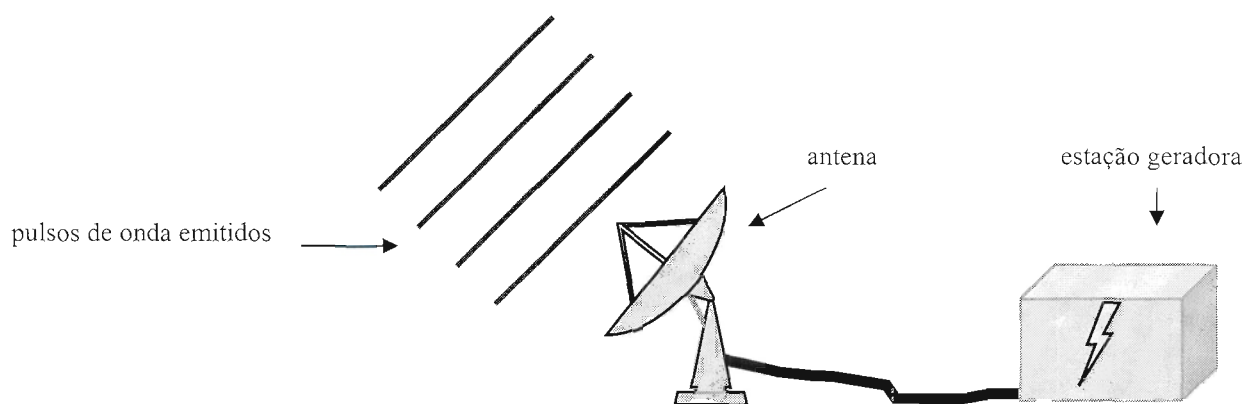


Figura 25- Transmissão de pulsos eletromagnéticos pela antena

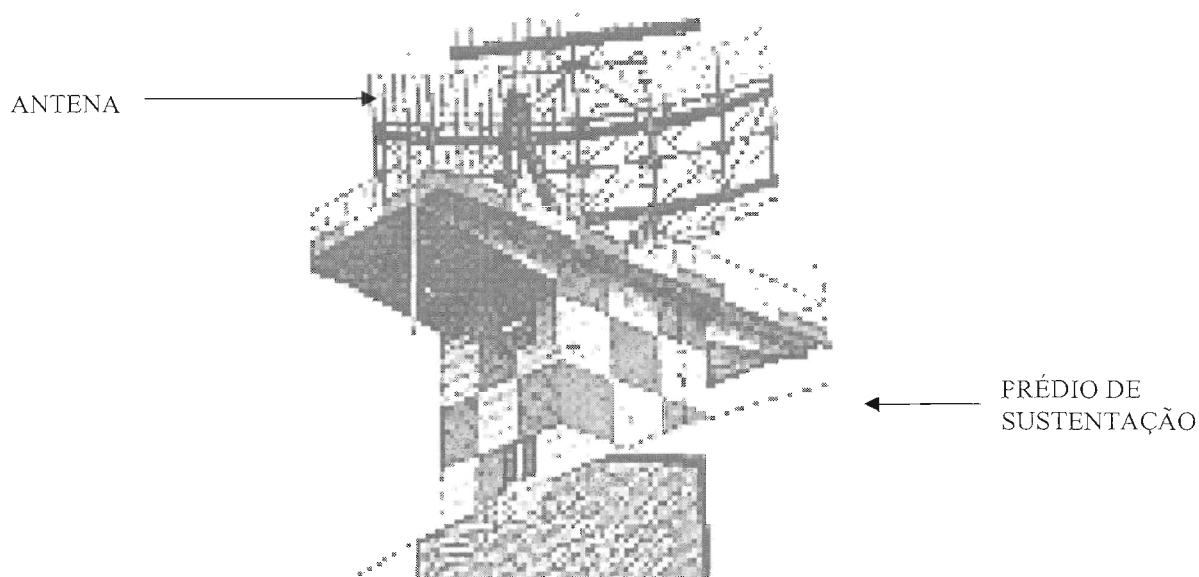


Figura 26- Antena do radar

C.2.1.2 O Duplexador

É uma chave eletrônica que permite, por um lado, que o sinal transmitido seja dirigido para a antena com uma perda mínima, isolando convenientemente o receptor no momento da transmissão e, por outro lado, que o sinal recebido seja dirigido na sua totalidade para o receptor durante a recepção, sem desviar parte desta energia recebida para o emissor e com uma perda mínima. A idéia básica seria de uma chave que em dado momento liga o emissor a antena e desliga o receptor, e ora liga o receptor e desliga o emissor (Fig.27).

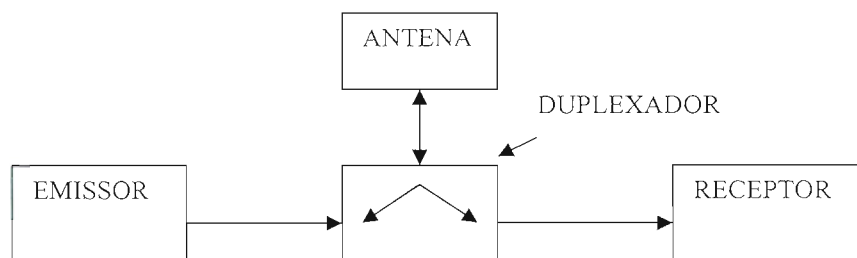


Figura 27- Comutação emissor e receptor pelo Duplexador

C.2.1.3 O Transmissor

Sua parte ativa é composta de tubos de emissão (válvulas), dentro dos quais são gerados e/ou amplificados os pulsos de hiperfrequência com a frequência e a potência desejadas. É com a válvula magnetron que os mais altos níveis de potência são obtidos (2 megawatt - MW durante alguns microssegundos).

A cadeia de amplificação composta por vários estágios sucessivos, amplifica um sinal da ordem de miliwatt (mW) de potência até a potência final de saída 2MW, que varia de acordo com a válvula (Fig.28). O ganho de potência é necessário para que o radar aumente seu alcance e o pulso eletromagnético possa refletir e retornar até a antena do radar, pois há perda de sinal no percurso de ida e volta do pulso.

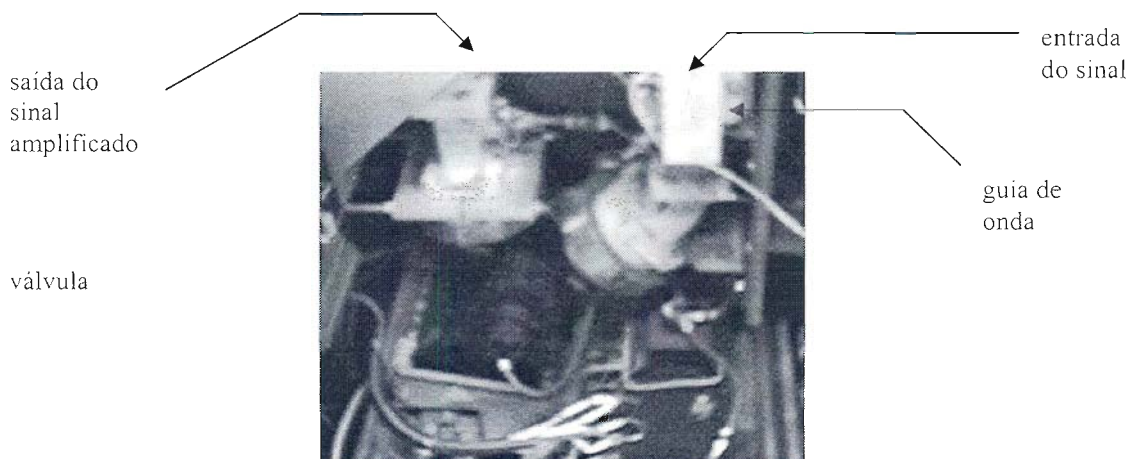


Figura 28- Válvula do radar

C.2.1.4 O Modulador

O modulador constitui a parte ativa do processo de emissão. Ele permite armazenar a energia durante o período da recepção para descarregá-lo num curtíssimo tempo sobre a válvula no momento da emissão. É um dispositivo que permite que as válvulas de transmissão do radar funcionem em regime pulsado (Fig.29)

As potências de pico liberadas pelos moduladores são muito elevadas, da ordem de 16KW, o que corresponde à corrente de algumas dezenas de ampéres (20A) com tensões de milhares de volts (850V).

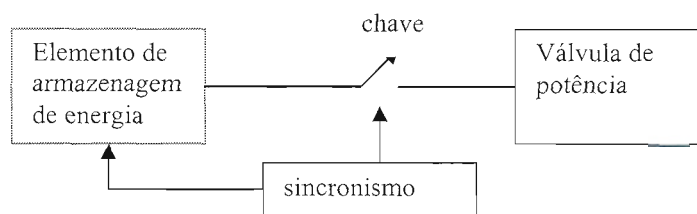


Figura 29- Princípio do modulador, o relógio de sincronismo dispara o elemento de armazenagem de energia e fecha a chave

O modulador possui um circuito de armazenagem de energia, chamado Linha de Retardo. Esse sistema é composto por vários capacitores e indutores, onde a energia fica armazenada. Essa energia é necessária para modular o sinal de RF e contribuir para que a válvula amplifique ao máximo o sinal que será transmitido para o espaço (Fig.30).

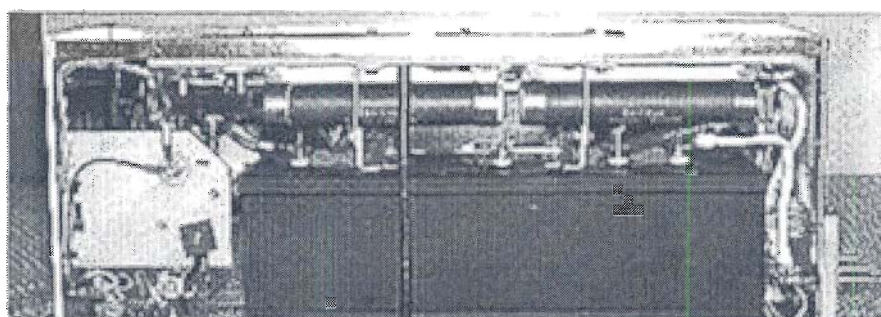


Figura 30 - Modulador do radar, a caixa preta é o elemento que armazena energia, chamado de LAR (Linha de Retardo)

C.2.1.5 O Receptor

O receptor é o elemento mais delicado e normalmente o mais complexo de um radar. Ele se incumba da amplificação e do tratamento do sinal recebido após ter sido refletido pelo obstáculo. Sua sensibilidade deve ser necessariamente muito grande. Ele amplifica os sinais dentro de uma grande proporção e deve fazê-lo sem deformação dos sinais.

A amplificação do pulso que retorna do alvo após reflexão, chamado de eco, faz-se necessário em virtude do pulso ter se tornado muito pequeno devido às perdas desde a saída do sinal pela antena até o retorno para o receptor. O receptor deve, ainda, efetuar a filtragem de sinais e ainda outros tratamentos adaptados à aquisição de informações como velocidade, posição angular, e

Seu funcionamento é particularmente orientado para reduzir ao mínimo as perturbações, devido ao ruído que acompanha o sinal do radar, o qual, ao menos uma parte, nasce dentro dos circuitos de recepção. O ruído deve ser minimizado.

A visualização das informações radar é alcançada a partir dos seguintes elementos dispostos em seqüência:

- sinal de vídeo liberado pelo receptor
- sinais de sincronização
- informações da posição angular do feixe da antena
- outras informações provenientes de um tratamento especial na recepção do sinal ou de fontes exteriores (vídeo mapa).

Essas informações são apresentadas a um controlador de tráfego aéreo sob a forma de uma imagem radar adaptada à situação a analisar. O controlador tem então, sob sua responsabilidade, a interpretação das informações que são assim visualizadas e de efetuar as operações necessárias (identificação, orientação, anticolisão, interceptação, etc...).

O diálogo entre a máquina e o controlador se estabelece por intermédio das consoles de visualização.

O meio de visualização mais utilizado é o tubo de raios catódicos. Ele pode ser completado por visualizações sobre telas de televisão, projeção sobre uma grande tela, projeção em cores.

Essas consoles utilizam ao máximo as possibilidades de visualização. São verdadeiros sistemas, podendo receber as informações brutas do radar e as informações dos computadores chamada de vídeo tratado. As informações brutas são vídeos dos ecos que não sofreram nenhum processo de tratamento de dados; isto é, de forma que a onda refletida pelo alvo seja apresentada logo após a recepção. E o vídeo tratado é o resultado de cálculos matemáticos e digitalizados. Elas permitem também um diálogo entre o controlador e o computador (Fig.31)



Figura 31- Console do radar local de trabalho do controlador

C.2.1.6 Sincronizador

O Sincronizador é o coração do sistema radar. Ele libera os sinais de base, que definem os instantes da emissão e libera os sinais anexos necessários às operações em tempo real.

Seu elemento de base é um relógio de grande estabilidade a partir do qual são produzidos os sinais de sincronização.

Esses sinais são distribuídos aos diferentes elementos a sincronizar. Sua distribuição deve ser assegurada com uma grande reprodutividade sobre cada via, de maneira a não introduzir erros nas medidas efetuadas.

C.2.2 Critérios de Performance

As descrições que precedem não são capazes de cobrir todos os princípios de observação do espaço, senão aqueles mais simples e mais característicos. Pode-se agora discutir quais são os critérios de performance característicos de tais radares.

A mais concreta é a fineza de observação que se decompõe em duas noções distintas:

- a precisão com a qual a observação radar permite localizar um alvo isolado;
- e o poder discriminador, ou poder de separar dois alvos vizinhos; esta performance está diretamente ligada à dimensão do sinal radar.

C.2.2.1 Discriminação em distância

É a separação mínima entre dois alvos, sendo que essa performance identifica a superioridade de um radar para o outro. Quando a onda eletromagnética se propaga pelo espaço e

atinge um único alvo, ocorre uma reflexão simples da onda. Agora quando se tem dois alvos próximos, os dois refletem o mesmo pulso eletromagnético, produzindo uma interferência dos sinais. Nesse caso, há duas possibilidades; se o intervalo de tempo (Δt) entre os dois pulsos refletidos (A e B) for maior que T' , que é a largura do pulso da 2ª aeronave; então a Recepção do Radar apresentará duas aeronaves distintas. Caso contrário, se Δt for menor que T' , então vai haver uma interferência no sinal, e a Recepção só vai apresentar uma única aeronave, desse modo, tem-se duas aeronaves e o Radar não vê distinção entre ambas. Visto assim, as aeronaves não podem voar juntas uma da outra, isso é chamado de discriminação em distância (Fig.32). Observa-se nesse caso o Princípio de Huygens que diz: *Cada ponto de uma frente de onda comporta-se como uma nova fonte de ondas elementares, que se propagam para além da região já atingida pela onda com a mesma frequência da onda original.*

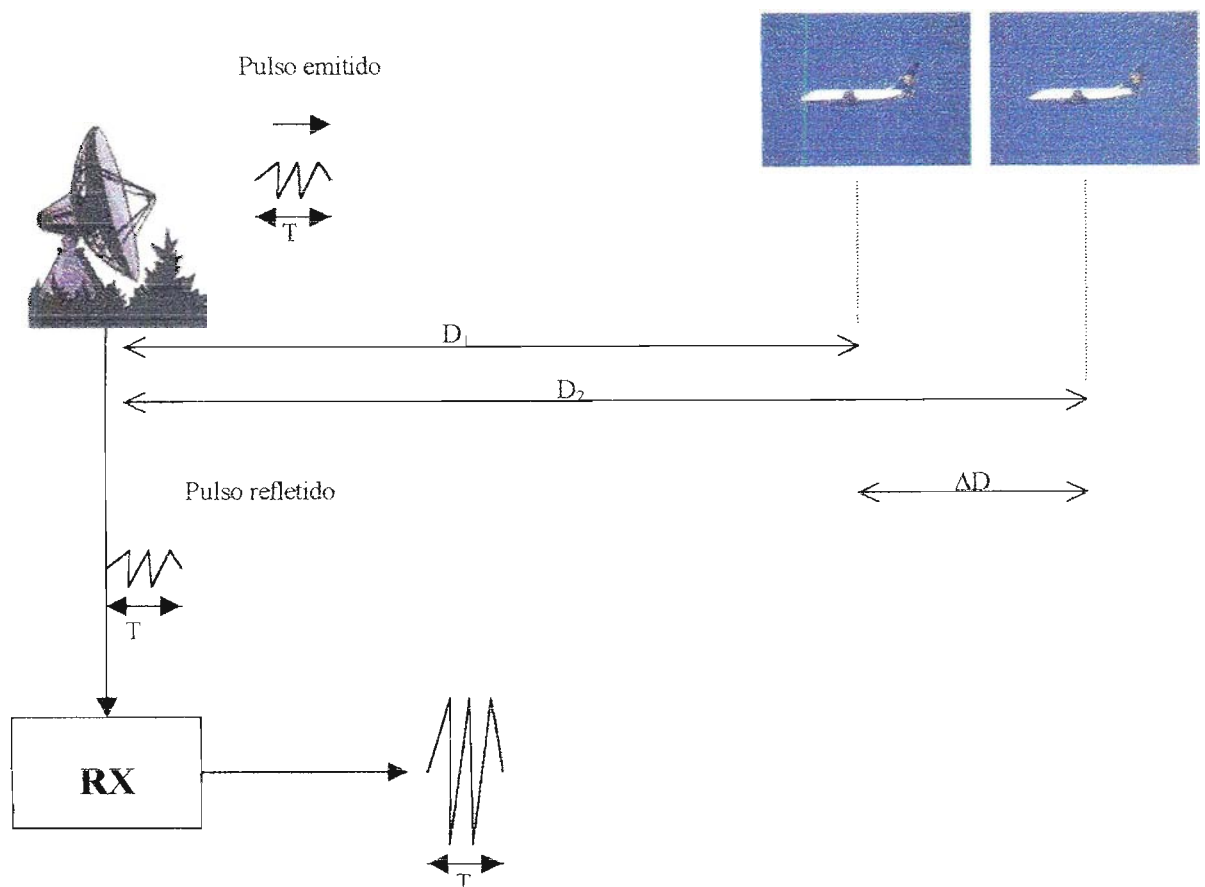
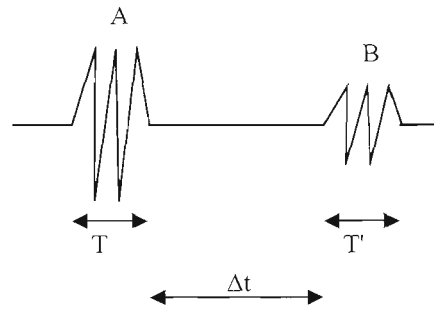


Figura 32- O radar emite uma onda pulsada de largura T e as duas aeronaves refletem a onda

Largura do pulso após a recepção (RX) do sinal:

$$T_1 = \frac{2 \cdot D_1}{c} \quad T_2 = \frac{2 \cdot D_2}{c}$$

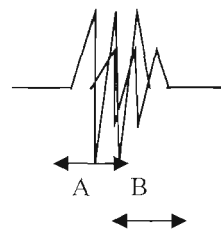


$$\Delta t = |T_1 - T_2| = 2 \cdot \left(\frac{D_1 - D_2}{c} \right) = \frac{2 \cdot \Delta D}{c}$$

Se o intervalo de tempo Δt entre os dois pulsos for maior que largura do pulso da segunda aeronave T' , os ecos são bem separados

$$\Delta t > T'$$

Porém, se o intervalo entre os pulsos for menor que a largura do pulso da segunda aeronave, os ecos não são distinguidos.



$$\Delta t \leq T'$$

O poder de discriminação em distância:

$$= \frac{c \cdot T'}{2}$$

C.2.2.2 Poder de discriminação angular

Nesse caso, as duas aeronaves se encontram na mesma altitude e mesma distância do Radar, porém separadas por um ângulo θ_g . Observa-se que o raciocínio é o mesmo, o pulso eletromagnético atinge a aeronave **A** e logo depois a aeronave **B**, durante o movimento de rotação da antena, para o Radar as aeronaves são distintas. Caso as aeronaves voem juntas, o Radar não apresentará as aeronaves separadamente, e sim, uma única aeronave, pois a reflexão do pulso eletromagnético ocorre ao mesmo tempo, conforme Figura 33. Por isso que os aviões de guerra voam em formação, para que o controlador de tráfego aéreo identifique uma aeronave; e que na verdade pode ser uma esquadrilha.

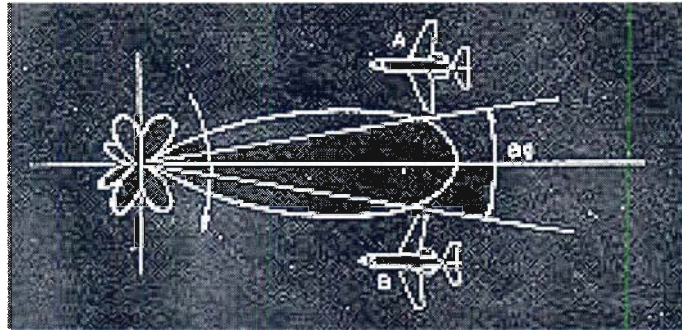


Figura 33- As duas aeronaves se encontram na mesma altitude e distância, separadas por um ângulo θ_g

Um fenômeno observado é a interferência dos sinais no momento que chegam no receptor, pois a sobreposição entre os pulsos eletromagnéticos que foram refletidos pelas aeronaves faz com que os sinais criem uma confusão na recepção, de modo que não seja possível a separação das aeronaves para apresentar na console.

Exemplo:

Sendo o ângulo $\theta_g = 1,5^\circ$

A frequência de repetição $f_r = 373 \text{ Hz}$

Tempo de uma volta da antena = 10 s

Tempo que um alvo é interrogado em uma volta de antena:

$$\begin{array}{ccc} 360^\circ & \longrightarrow & 10 \text{ s} \\ 1,5^\circ & \longrightarrow & x \end{array}$$

$$x = 40 \text{ ms}$$

Se a frequência de repetição do pulso é 373 Hz, então o período é:

$$T = 1/373 \text{ Hz} = 2,68 \cdot 10^{-3} \text{ seg} = 2,68 \text{ ms}$$

Como o tempo que um alvo é interrogado no momento que a antena passa por ele é 40ms e o período é 2,68ms, então :

Número de impulsões recebidas pela aeronave naquele instante é:

$$N = \frac{40\text{ms}}{2,68\text{ms}} = 14,92 \cong 15$$

$$N=15 \text{ impulsões}$$

Quando as duas aeronaves refletem separadamente as impulsões o receptor consegue distinguir (Fig 34).

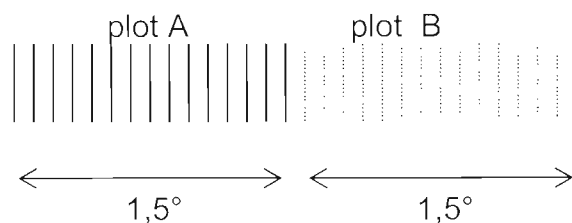


Figura 34- Cada aeronave reflete separadamente as 15 impulsões

Quando as impulsões refletidas pelas aeronaves chegam ao mesmo tempo, então a recepção dos sinais das duas aeronaves são confundidas numa só (Fig. 35)

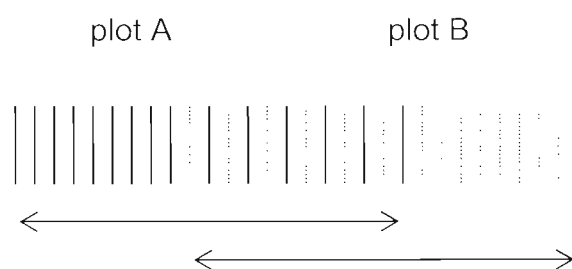


Figura 35- As aeronaves refletem juntas as 15 impulsões

D. TIPOS DE RADAR

Após a Segunda Guerra Mundial novas tecnologias foram desenvolvidas com a utilização do fenômeno reflexão da onda. Os radares cada vez mais aprimorados se espalharam pelo mundo com o intuito de melhorar a segurança dos vôos. Além desse compromisso, os radares tomaram rumos em diversas aplicações, dentre elas, se tem: meteorologia, altimetria, busca, tiro, defesa, telemetria, profundidade, radiação em alimentos e outros. Conforme sua aplicação, o radar tem um tipo diferente de antena e um tipo diferente de explorar o espaço, sendo assim vários modelos são fornecidos pelos fabricantes.

D.1 Radar de Elevação a Balanceamento

Esse radar foi desenvolvido para atender as unidades que possuem aviões de combate, com objetivo de guiar a aeronave até a pista de pouso, quando em mau tempo.

Requer um treinamento do controlador muito severo, pois o piloto executa todos os comandos de acordo com as ordens dadas pelo controlador, um erro pode ser fatal (Fig.36)

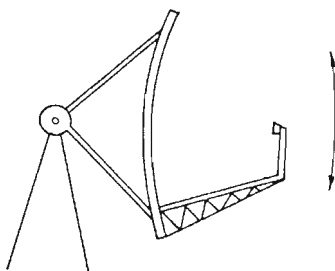


Figura 36- A antena se move no sentido vertical, utilizada para a aterrissagem de aeronaves militares

Neste tipo de radar a exploração do espaço é feita pelo balanço do refletor após uma orientação prévia dentro de um setor determinado, a partir das informações do radar panorâmico (Fig.37) O esquema geral do radar é do mesmo tipo do radar básico.

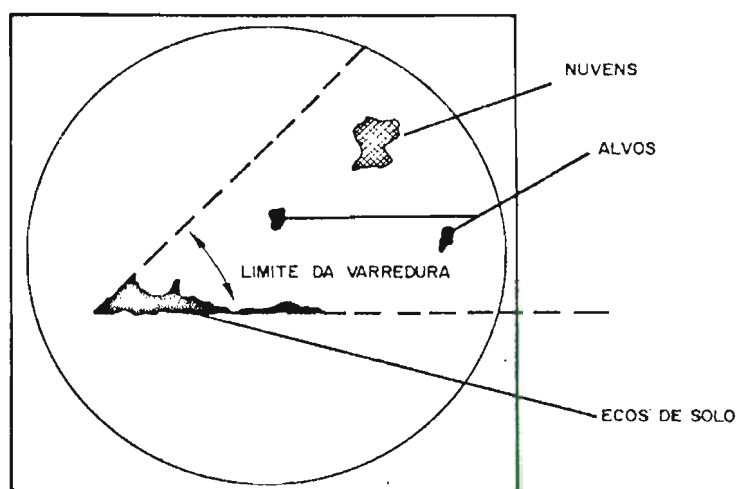


Figura 37 - Tela do radar utilizando varredura vertical

O scope é pouco remanente, de modo a poder mudar rapidamente de setor explorado.

A altitude é medida pegando-se o centro do "plot" em elevação. Os alvos são identificados pela sua distância. Atualmente se usa esse radar com duas antenas.

D.2 Radares de Aterrissagem

A maior parte das aeronaves possui seus próprios meios de aterrissagem sem visibilidade, utilizando o processo ILS (INSTRUMENT LANDING SYSTEM). Entretanto, a utilização de um radar de solo especializado, chamado GCA (GROUND CONTROL APPROACH) permite realizar esta mesma função com um avião dotado somente de rádio e, guiado pelo controlador no solo. Este radar deve, então, ser capaz de guiar uma aeronave sobre um eixo de descida e medir, simultaneamente, a elevação, o azimuth e a distância da aeronave em relação ao seu ponto de pouso. A solução tomada é aquela de um radar a duas antenas a balanceamento, uma em elevação e outra em azimuth, religadas ciclicamente ao mesmo emissor-receptor (Fig38).

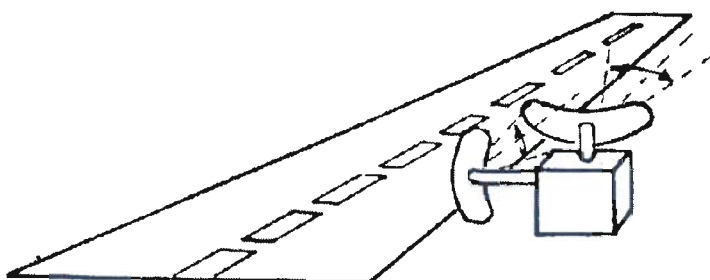


Figura 38- Antenas do radar PAR; uma move-se na vertical e a outra na horizontal

A varredura das duas antenas é visualizada sobre a mesma tela, o que permite guiar completamente a aeronave (Fig. 39).

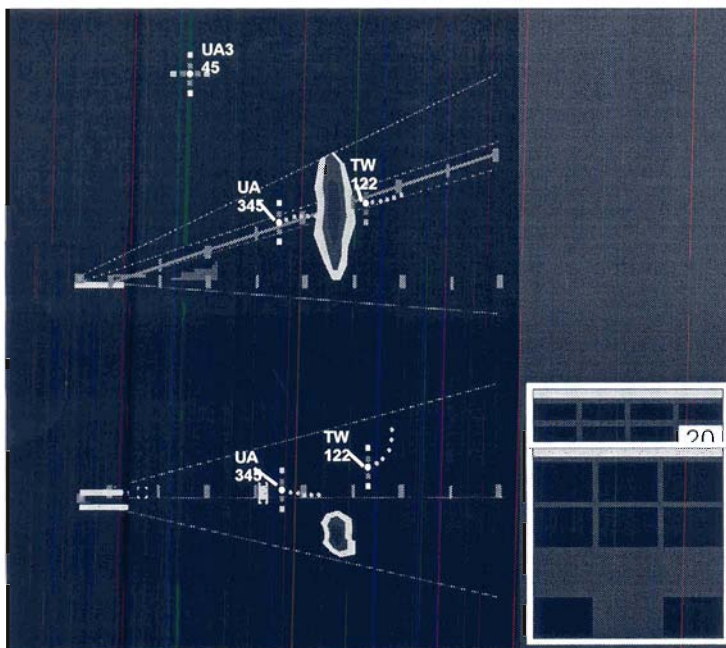


Figura 39- Tela do radar PAR (Radar de Aproximação), utilizado somente pelos pilotos militares , em virtude do não treinamento dos pilotos civis. Este radar tem condições de conduzir a aeronave até a cabeceira da pista de pouso, mesmo em mau tempo.[8]

D.3 Radares Volumétricos

Esse tipo radar faz a varredura do espaço através de várias frequências, de modo que a exploração do espaço siga o modelo da Figura 40. Nesse modelo se tem uma diversidade de frequência onde a interferência se torna mais difícil de ocorrer. Esse radar é usado em controle de tráfego aéreo de longo alcance, chamado de vôo de rota. Atualmente a varredura se faz eletronicamente onde as frequências a serem emitidas seguem um modelo conforme a topografia do terreno onde se encontra o radar.

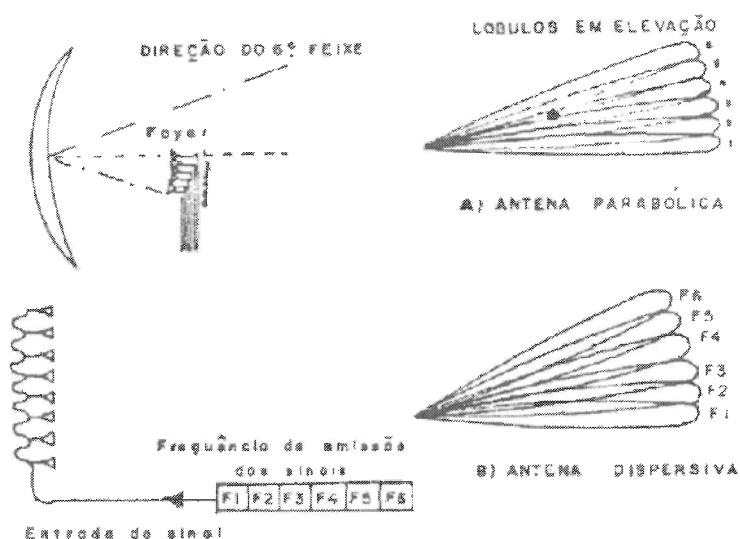


Figura 40 - Os pulsos são emitidos para o espaço em frequências diferentes passando de f_1 a f_6

D.4. O Radar a Exploração Cônica

O pincel irradiado pelo radar terá a mesma abertura em elevação e em azimuth, pois a antena do radar é circular. Para procurar um alvo dentro de um certo domínio, pode-se recorrer a uma varredura cônica, assim denominada pois, a porção do espaço a explorar é um cone. Um tipo de radar que utiliza a varredura cônica é o meteorológico Fig.41

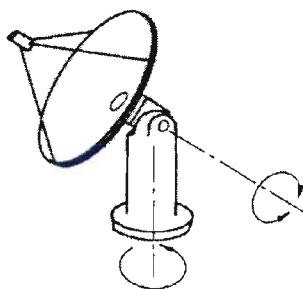


Figura 41-Utilizado pelo radar meteorológico para exploração do espaço na formação do produto, facilitando a análise das condições atmosféricas

Foi possível com o advento de novas tecnologias o desenvolvimento de um radar com tela colorida que pudesse mostrar os fenômenos atmosféricos (Fig.42)

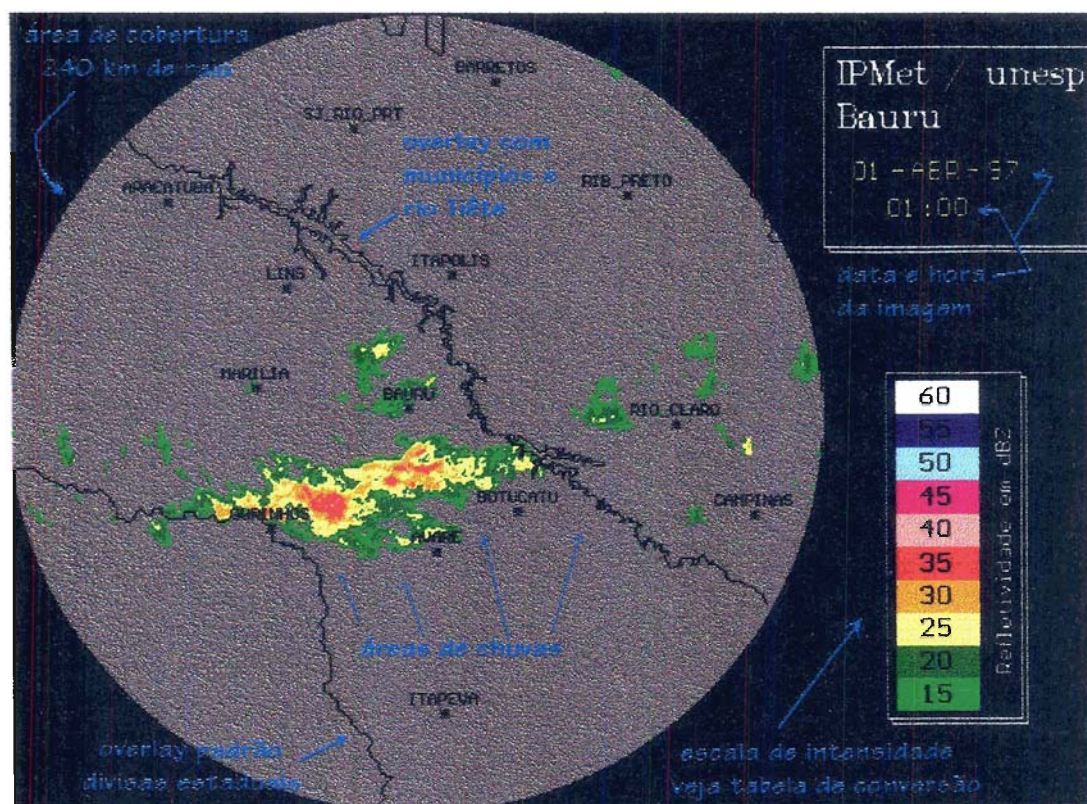


Figura 42- Tela de visualização do Radar Meteorológico - Bauru: As áreas coloridas representam as precipitações sobre a área de cobertura (circunferência) do radar de Bauru no dia 01/04/97 às 01:00 HL (hora local), conforme anotados no quadro situado no canto superior direito da figura. A imagem é apresentada com seu "overlay" (máscara) padrão onde são delimitados os limites estaduais, acrescido do "overlay" com o curso do rio Tietê e da localização de alguns municípios, sob a área de cobertura do radar. Vide tabela anexa para conversão dos valores de refletividade (dBZ) em intensidade (mm/h). [9]

E.CONCLUSÃO

O presente trabalho apresenta conceitos básicos utilizando um equipamento de grande importâncias pelas suas aplicações nos transportes modernos. Procurou-se abordar princípios fundamentais do fenômeno ondulatório, pela sua importância para o desenvolvimento de novas tecnologias. Essa implementação leva a melhoria nos produtos gerados. Hoje os computadores realizam novas tarefas que anteriormente eram desenvolvidas por sistemas eletrônicos mais pesados e complexos. O equipamento radar não se baseia apenas na reflexão ondulatória para formação da imagem. De fato, outros fenômenos físicos que não foram abordados neste trabalho, como efeito piezoelétrico, a polarização circular, a radioatividade, a refrigeração térmica são utilizados nos processos de detecção para a formação de melhores imagens.

O conteúdo deste trabalho abrange conceitos básicos sobre o funcionamento do radar e um vocabulário técnico pouco popular. Sendo assim, espera-se que a discussão do assunto aqui apresentado venha somar nova informação para os professores que ensinam física no Ensino Médio, como elemento motivador quando os fenômenos ondulatórios são apresentados.

F.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PARÂMETROS CURRICULARES (MEC/SEMTEC) PARA O ENSINO DAS CIÊNCIAS DA NATUREZA E SUAS TECNOLOGIAS, 1998
- [2] MARCOS CHIQUETTO, BÁRBARA VALENTIM, ESTÉFANO PAGLIARI- Aprendendo Física, Vol.2, Ed. Scipione 1996
- [3] NICOLAU PENTEADO TOLEDO TORRES, Física Ciência e Tecnologia, Vol. único, Editora Moderna - 2001
- [4] RAMALHO, FRANCISCO J.e FERRARO, NICOLAU G. e SOARES, PAULO A. de T.- Os Fundamentos da Física . Vol.2 Ed. Moderna 6ª ed.1994
- [5] NEWTON, HELOU, GUALTER- Tópicos de Física, Vol 2 Ed Saraiva 10ª ed., 1993
- [6] DARRICAU-Physique e Théorie du Radar. Tome 1 e 2, Ed. Sodipec, Paris 1981
- [7] M.CARPENTIER. Radars Basea Modernes, Ed. Masson, Paris 1994
- [8] FABRICANTE DO PAR, ALENIA
- [9] FABRICANTE DO RADAR METEOROLÓGICO, TECTELCOM